

中国中小商业企业协会团体标准

T/XXX XXX—2022

预制桩身载体桩施工技术规范

Technical code for construction of piles with ram-compacted bearing sphere with
prefabricated pile body

20XX—XX—XX 发布

20XX—XX—XX 实施

中国中小商业企业协会 发布

目 次

前言 II

引言 III

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 1

4 基本规定 2

5 设计 3

6 施工 10

 6.2 设备准备 11

 6.3 施工材料 11

 6.4 安全准备 11

7 验收 20

 7.1 一般规定 20

 7.2 施工前检验 22

 7.3 施工中检验 22

 7.4 施工后检验 22

 7.5 验收资料 23

附录 A（规范性）单桩竖向抗压静载荷试验 24

附录 B（规范性）单桩竖向抗拔静载试验 26

附录 C（规范性）填芯混凝土内配筋 28

附录 D（规范性）受拉管桩与承台连接构造图 29

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件由中地鼎固（湖北）岩土工程有限公司提出。

本文件由中国中小商业企业协会归口。

本文件主编单位：中地鼎固（湖北）岩土工程有限公司

湖北波森特岩土工程有限公司

本文件参编单位：中国地质大学（武汉）

中信建筑设计研究总院有限公司

中南建筑设计院股份有限公司

中建科工集团武汉有限公司

中机国际工程设计研究院有限责任公司

中交第二公路勘察设计研究院有限公司

中交一公局集团有限公司

中煤湖北地质勘察基础工程有限公司

中国二十冶集团有限公司

武汉市规划设计有限公司

亿达建设集团有限公司

江苏宏科建设有限公司

湖南省第四工程有限公司

深圳市博艺奇建筑设计有限公司江西分公司

武汉科岛工程检测技术有限公司

汉川浙南金石建材有限公司

本文件主要起草人：邵良荣 杨华明 冯晓腊 张聪辰 邢沛霖 徐厚军 张耀林 高 杰 史锋涛

谭光宇 蒋耀华 邵 俊 甘 磊 高东升 操华国 孟凡仲 饶 东 吴桂芹

朱潇钰 王 宇 胡 明 汤显斌 王东洋 廖川国 吴木星 徐忠辉 张 彪

本文件于 2022 年 XX 月首次发布。

引 言

本文件的发布机构提请注意，声明符合本文件时，可能涉及到本文件 6.5 条款与“载体桩”，6.5.2、6.5.5 条款与“一种自动化施工预应力桩的方法”，6.5.3、6.5.5、6.5.6 条款与“一种预制桩身载体桩及其施工方法”，6.5.4、6.5.8 条款与“自动化桩身非挤土型载体桩多设备高效施工方法”，6.5.7 条款与“一种抗拔载体桩及其施工方法”，6.5.5、6.5.8 与“载体桩多设备高效施工方法”和“载体桩施工工艺”相关的专利的使用。

本文件的发布机构对于该专利的真实性、有效性和范围无任何立场。

该专利持有人已向本文件的发布机构承诺，他愿意同任何申请人在合理且无歧视的条款和条件下，就专利授权许可进行谈判。该专利持有人的声明已在本文件的发布机构备案。相关信息可以通过以下联系方式获得：

专利持有人姓名：邵良荣、湖北波森特岩土工程有限公司。

地址：湖北省武汉市洪山区珞喻路联合国际 1001 室。

请注意除上述专利外，本文件的某些内容仍可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

预制桩身载体桩施工技术规范

1 范围

本文件规定了预制桩身载体桩（以下简称“预制载体桩”）的基本规定、设计、施工及验收等要求。

本文件适用于黏性土、粉土、砂土、碎石土、残积土、全风化岩、强风化岩及中风化岩等地层的预制桩身载体桩施工。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB 50007 建筑地基基础设计规范
GB 50010 混凝土结构设计规范
GB 50119 混凝土外加剂应用技术规范
GB 50202—2018 建筑地基基础工程施工质量验收标准
GB 50656 施工企业安全生产管理规范
JGJ 52 普通混凝土用砂、石质量及检验方法标准
JGJ 55 普通混凝土配合比设计规程
JGJ 79 建筑地基处理技术规范
JGJ 94 建筑桩基技术规范
JGJ 106 建筑基桩检测技术规范
JGJ/T 135—2018 载体桩技术标准
JGJ/T 406—2017 预应力混凝土管桩技术标准

3 术语和定义

JGJ/T 135—2018 界定的以及下列术语和定义适用于本文件。

3.1

预制桩身载体桩 piles with ram-compacted bearing sphere with prefabricated pile body

是载体桩的一种，包括桩身和载体，载体由夯实填充料、挤密土体和影响土体三部分构成，预制桩身载体桩的桩身由高强预应力管桩构成。

3.2

填充料 filling material

为挤密桩端地基土体而填入的材料，包括干硬性混凝土、水泥砂拌合物、三合土、碎石、卵石及矿渣等。

3.3

挤密土体 compacted soil mass

夯实填充料时桩端周围被挤密的地基土体。

3.4

影响土体 affected soil mass

通过设备重锤的夯击做功，而被影响的地基土体。

3.5

干硬性混凝土 dry concrete

是指将一定质量比的水泥、沙子、碎石加入一定量的水拌合而成的干硬性材料。

3.6

水泥砂拌合物 mixture of cement and sand

一定质量比的水泥与砂加入一定量水拌合的干硬性材料。

3.7

实心柱锤 column hammer

直径为 250 mm~700 mm，长为 2 000 mm~10 000 mm，质量为 1.5 t~10 t，用以夯实填充料的柱锤。

3.8

空心柱锤 hollow hammer

直径为 250 mm~700 mm，长为 4 000 mm~14 000 mm，质量为 1.5 t~10 t，用以抗拔筋贯穿并夯实填充料的空心状柱锤。

3.9

三击贯入度 the total penetrations of three drives

夯击后，以锤径为 355 mm，质量为 3 500 kg 的柱锤，落距 6.0 m，连续三次锤击的累计下沉量。

3.10

等效计算面积 equivalent area

达到三击贯入度要求后，计算载体桩承载力特征值的载体等效承载面积。

4 基本规定

4.1 预制载体桩根据施工工艺可分为桩身挤土型工艺和桩身非挤土型工艺；根据受力机制可分为预制桩身抗压型载体桩和预制桩身抗拔型载体桩。

4.2 在缺乏成孔经验、成桩经验的地质条件下施工载体桩，应通过成孔、成桩试验确定施工工艺和设备的适用性。

4.3 应根据地质条件、上部荷载、施工工艺与设备及在类似条件下的工程经验等因素综合确定载体桩的设计参数。

4.4 预制载体桩施工应根据桩的参数、地基土的土性及周边环境等因素选用合适的施工设备。

4.5 应选用符合当地地质条件，更有利于载体形成的填充材料，如干硬性混凝土、水泥砂拌合物等材料。

4.6 当填充料采用干硬性混凝土时，施工前应按设计要求的混凝土强度配合比拌制水泥、黄沙、碎石。

4.7 当填充料采用水泥砂拌合物时，施工前应确定水泥砂拌合物的质量比，常用的质量比为 1:3。

4.8 桩直径为 300 mm~500 mm 的载体桩，填料量不宜大于 0.8 m^3 ；桩径为 500 mm~800 mm 的载体桩，填料量不宜大于 1.2 m^3 ，当填料量超过限值时，应调整被加固土层。

4.9 预制载体桩设计时应进行单桩和群桩承载力验算，群桩承载力可按等代实体基础进行验算。

4.10 预制载体桩可作为桩基础的基桩和复合地基的竖向增强体。

4.11 在地下水位以下的砂土、卵石、砾石等渗透系数较大的土中施工预制载体桩时，应注意采取封水措施。当桩端进入具有承压水的土层时，施工中应考虑承压水对施工的影响。

4.12 当地下水或土对混凝土或混凝土中的钢筋有腐蚀性时，桩身材料应满足抗腐蚀要求。

- 4.13 预制载体桩施工时，应控制相邻桩的上浮量。对于桩身混凝土已达到终凝的相邻桩，其上浮量不应大于 20 mm；对于桩身混凝土处于流动状态的相邻桩，其上浮量不应大于 50 mm。
- 4.14 预制载体桩施工采用全自动电脑控制施工，施工前应根据地基土土性设定适宜的施工控制参数，并全程记录施工过程中各项控制指标。
- 4.15 当施工挤土效应明显或锤击成孔困难时，可采取桩身非挤土型施工工艺进行施工。
- 4.16 对满堂布置的载体桩施工，宜进行地基土水平和垂直方向位移的监测工作。
- 4.17 预制载体桩施工后进行基坑开挖时，应认真做好基坑支护和开挖施工，并考虑基坑开挖时边坡土体的侧移及坑底隆起对工程桩的影响。

5 设计

5.1 一般规定

- 5.1.1 预制载体桩的设计等级应按 JGJ 94 确定。
- 5.1.2 设计时所采用的作用组合和抗力限值应符合 GB 50007 的规定。
- 5.1.3 预制载体桩桩间距不宜小于 3 倍桩身直径，当被加固土层为含水量大于 20% 的黏性土时，桩间距不宜小于 4 倍桩身直径；施工时不得影响相邻桩的施工质量。
- 5.1.4 当被加固土层为粉土、砂土或碎石土时，桩间距尚不宜小于 1.6 m；当被加固土层为含水量大于 20% 的黏性土时，桩间距不宜小于 2.0 m。
- 5.1.5 当被加固土层为含水量大于 20% 的黏性土时，宜采用桩身非挤土型施工工艺，桩间距可适当减小，但不应小于 3 倍桩身直径。
- 5.1.6 承台的抗弯、抗剪、抗冲切验算方法、承台（梁）的构造应按 JGJ 94 执行。
- 5.1.7 对无相近地质条件下成桩实验资料的载体桩设计，应事先进行成孔、成桩实验和载荷试验确定设计施工参数。
- 5.1.8 被加固土层宜为粉土、砂土、碎石土及可塑、硬塑状态的粘性土。当软塑状态的粘性土、素填土、杂填土和湿陷性黄土经过成桩试验和载荷试验确定载体桩的承载力满足要求时，也可以作为被加固土层。在湿陷性黄土地区采用载体桩时，载体桩必须穿透湿陷性黄土层。
- 5.1.9 桩身长度应由所选择的被加固土层和持力层的埋深及承台底标高确定。
- 5.1.10 桩身的下沉深度应以载体桩设计深度控制为主，以静压桩机的压力值或锤击桩机贯入度控制为辅的原则。

5.2 计算

5.2.1 竖向抗压承载力计算

- 5.2.1.1 预制载体桩竖向抗压承载力计算应符合下列规定：

- a) 作用标准组合应符合下列规定：

- 1) 轴心竖向力作用下应符合下式要求：

$$N_K \leq R_a \dots\dots\dots (1)$$

- 2) 偏心竖向力作用下除应满足 (1) 外，尚应满足下式要求：

$$N_{Kmax} \leq 1.2R_a \dots\dots\dots (2)$$

- b) 地震作用和荷载标准组合应符合下列规定：

- 1) 轴心竖向力作用下应符合下式要求：

$$N_{Ek} \leq 1.25R_a \dots\dots\dots (3)$$

- 2) 偏心竖向力作用下，除符合 (3) 外，尚应符合下式的要求：

$$N_{Ekmax} \leq 1.5R_a \dots\dots\dots (4)$$

式中：

- N_k ——相应于作用的标准组合时竖向力作用下，载体桩基桩的平均竖向力（kN）；
 N_{kmax} ——相应于作用的标准组合偏心竖向力作用下，载体桩基桩的最大竖向力（kN）；
 N_{Ek} ——相应于地震作用和荷载标准组合时载体桩基桩的平均竖向力（kN）；
 N_{Ekmax} ——相应于地震作用和荷载标准组合时载体桩基桩的最大竖向力（kN）；
 R_a ——载体桩单桩竖向抗压承载力特征值（kN）。

5.2.1.2 预制载体桩单桩竖向承载力特征值确定应符合下列规定：

- a) 桩基设计等级为甲级和地质条件复杂的乙级载体桩基础，应通过单桩竖向静载荷试验确定单桩竖向抗压承载力特征值，按本标准附录 A 的规定执行。同一条件下试验数量不应少于 3 根；
b) 预制载体桩单桩竖向抗压承载力特征值应按式计算：

$$R_a = Q_{uk}/K \dots\dots\dots (5)$$

式中：

- Q_{uk} ——载体桩单桩竖向抗压极限承载力标准值（kN）；
 K ——安全系数，取 $K=2$ 。

5.2.1.3 初步设计时，对于桩长小于 30 m 的载体桩，单桩竖向抗压承载力特征值计算应符合下列规定：

- a) 桩身范围内无液化土层时，可采用下式估算：

$$R_a = f_a \times A_e \dots\dots\dots (6)$$

式中：

f_a ——经修正后的载体桩持力层承载力特征值（kPa），承载力修正应按 GB 50007 执行，其中宽度修正系数为零；

A_e ——载体等效计算面积（ m^2 ），宜按地区经验确定，无地区经验且桩径为 450 mm~500 mm 时可按表 1 选取。桩径为 350 mm~450 mm，表中 A_e 值应乘以 0.85~0.95，当桩径为 500 mm~800 mm 时，表中 A_e 值应乘以 1.1~1.3，桩径小时取小值，大时取大值。

- b) 当桩端持力层为中风化岩层，且载体为无填料载体时，单桩承载力计算中 A_e 应取桩身截面面积， f_a 应根据载荷试验或由下式确定：

$$f_a = \psi_r \times f_{rk} \dots\dots\dots (7)$$

式中：

- f_{rk} ——岩石单轴饱和抗压强度标准值（kPa）；
 ψ_r ——折减系数，根据地方经验确定。

- c) 当桩身穿过液化土层时，应考虑液化对单桩承载力的影响，计算应按 JGJ 94 执行。

表 1 载体等效计算面积 A_e （ m^2 ）

被加固土层土性		三击贯入度（cm）				
		<10	10	20	30	>30
黏性土	$0.75 < I_L \leq 1.00$	—	2.2~2.5	1.8~2.2	1.5~1.8	<1.5
	$0.25 < I_L \leq 0.75$	—	2.5~2.8	2.2~2.5	1.9~2.2	<1.9
	$0.00 < I_L \leq 0.25$	3.2~3.6	2.8~3.2	2.4~2.8	2.1~2.4	<2.1
杂填土		2.6~3.0	2.3~2.6	2.0~2.3	1.7~2.0	<1.7
粉土	$e > 0.8$	2.6~2.9	2.3~2.6	2.0~2.3	1.7~2.0	<1.7
	$0.7 < e \leq 0.8$	3.0~3.3	2.7~3.0	2.4~2.7	2.1~2.4	<2.1
	$e \leq 0.7$	3.3~3.7	2.9~3.3	2.5~2.9	2.2~2.5	<2.2
粉砂	松散—稍密	3.2~3.6	2.8~3.2	2.4~2.8	2.1~2.4	<2.1
细砂	中密—密实	3.7~4.2	3.2~3.7	2.7~3.2	2.3~2.7	<2.3

表 1 载体等效计算面积 A_e (m^2) (续)

被加固土层土性		三击贯入度 (cm)				
		<10	10	20	30	>30
中砂 粗砂	松散—稍密	3.6~4.1	3.1~3.6	2.6~3.1	2.2~2.6	<2.2
	中密—密实	4.3~4.8	3.8~4.3	3.3~3.8	2.8~3.3	—
碎石土	松散—稍密	3.9~4.5	3.4~3.9	2.9~3.4	—	—
	中密—密实	4.6~5.2	4.0~4.6	3.4~4.0	—	—
残积土		3.8~4.2	3.4~3.8	3.0~3.4	—	—
全风化岩		4.0~4.4	3.6~4.0	3.2~3.6	—	—
强风化岩		4.4~4.9	4.0~4.4	—	—	—

注：表中 e 为土的孔隙比； I_L 为土的液性指数。

5.2.1.4 预制载体桩单桩承载力除按本文件第 5.2.1.3 条估算外，尚应进行正截面受压承载力验算，并应符合下列规定：

a) 当桩顶以下 5 倍桩身直径范围内的螺旋式箍筋间距不大于 100 mm 时，应符合下式要求：

$$N \leq \psi_c f_c A_p + 0.9 f_y A_s \dots\dots\dots (8)$$

b) 当桩顶以下 5 倍桩身直径范围内的螺旋式箍筋间距大于 100 mm 时，应符合下式要求：

$$N \leq \psi_c f_c A_p \dots\dots\dots (9)$$

式中：

N ——相应于作用基本组合时载体桩单桩桩顶竖向力设计值 (kN)；

f_c ——混凝土轴心抗压强度设计值 (kPa)，应符合 GB 50010 的规定；

f_y ——纵向主筋抗压强度设计值 (kPa)；

A_s ——纵向主筋截面面积 (m^2)；

A_p ——桩身截面面积 (m^2)；

ψ_c ——成桩工艺系数，桩身为预制混凝土构件时取 0.85，现场灌注时取 0.75~0.90，桩身挤土效应明显时取低值，挤土效应不明显时取高值，桩身外侧有水泥土桩时取高值。

5.2.1.5 当桩间距小于 6 倍桩身直径时，载体桩群桩基础持力层下受力范围内存在软弱下卧层时，应按下列公式进行软弱下卧层承载力验算。

$$\sigma_z + \gamma_m Z \leq f_{az} \dots\dots\dots (10)$$

$$\sigma_z = \frac{F_k + G_k - \gamma A d_h - 3/2 (L_0 + B_0) \sum q_{sik} l_i}{(L_0 + 2\Delta R + 2t \times tg\theta)(B_0 + 2\Delta R + 2t \times tg\theta)} \dots\dots\dots (11)$$

式中：

σ_z ——相应于作用的标准组合时软弱下卧层顶面的附加应力 (kPa)；

γ ——承台底以上土的加权平均重度 (kN/ m^3)，地下水以下采用浮重度；

Z ——地面至软弱下卧层顶面的距离 (m)；

d_h ——承台埋深 (m)；

A ——承台面积 (m^2)；

γ_m ——软弱下卧层顶面以上土的加权平均重度，地下水以下采用浮重度 (kN/ m^3)；

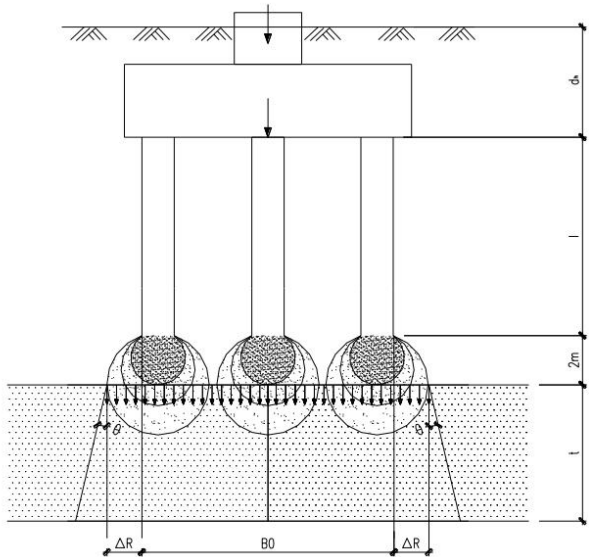
q_{sik} ——第 i 层土极限侧阻力标准值 (kPa)，根据经验确定或按 JGJ 94 执行；

l_i ——桩长范围内第 i 层土的厚度 (m)；

t ——载体底面计算位置至软弱层顶面的距离 (m)；

f_{az} ——软弱下卧层顶面处经深度修正后地基承载力特征值 (kPa)；

- F_k ——相应于作用的标准组合时，承台顶面的竖向力（kN）；
- G_k ——载体桩基承台和其上部土自重标准值，对于稳定的地下水位以下部分应扣除水的浮力（kN）；
- L_0 、 B_0 ——桩群外缘矩形底面的长、短边边长（m）（图 1）；
- ΔR ——扩散等效计算宽度（m），可取 0.6 m~1.0 m，当 A_e 值较小时，取小值；当 A_e 值较大时，取大值；
- θ ——附加压力的扩散角（°），可按表 2 取值。



l ——直杆段混凝土桩身长度。

图 1 软卧下卧层计算示意

表 2 地基压力扩散角

E_{s1} / E_{s2}	t / B_K	
	0.25	0.50
1	4°	12°
3	6°	23°
5	10°	25°
10	20°	30°
注1: $B_K=B_0+2\Delta R$ 。 注2: E_{s1} 、 E_{s2} 分别为持力层和软弱下卧层的地基土压缩模量。 注3: t/B_K 小于0.25取0°，大于0.25小于0.5时按内插取值，大于0.50取0.50对应的扩散角。		

5.2.1.6 对于独立柱基和满堂布桩的基础，应按下列公式进行群桩整体基础承载力验算：

$\sigma_{zd} + \gamma_n Z_d \leq f_a$ (12)

$\sigma_{zd} = \frac{F_k + G_k - \gamma A d_h - 3/2(L_0 + B_0) \sum q_{sik} l_i}{(L_0 + 2\Delta R)(B_0 + 2\Delta R)}$ (13)

式中：

- σ_{zd} ——相应于作用的标准组合时按等代实体计算的作用于载体桩桩底的地基土平均附加应力（kPa）；
- γ_n ——桩底以上地基土的加权平均重度（kN/m³）；

Z_d ——地面至载体桩底的距离 (m)。

5.2.2 抗拔承载力计算

5.2.2.1 抗拔载体桩应将钢筋笼 (锚杆) 嵌入载体内部 (图 2)，并应按下列公式验算群桩基础呈整体破坏和呈非整体破坏时基桩的抗拔承载力：

$$N_{pk} \leq T_{gk}/2 + G_{gp} \dots\dots\dots (14)$$

$$N_{pk} \leq T_{uk}/2 + G_p \dots\dots\dots (15)$$

式中：

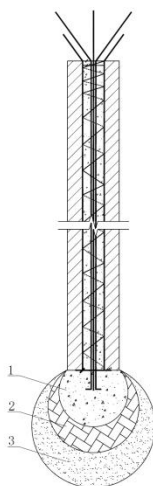
N_{pk} ——相应于作用的标准组合时桩顶的拉力 (kN)；

T_{gk} ——群桩呈整体破坏时基桩的抗拔极限承载力标准值 (kN)，可按本标准第 5.2.2.2 条确定；

T_{uk} ——群桩呈非整体破坏时基桩的抗拔极限承载力标准值 (kN)，可按本标准第 5.2.2.2 条确定；

G_{gp} ——群桩基础所包围体积的桩土总自重除以总桩数的平均重量 (kN)，地下水以下扣除水的浮力；

G_p ——基桩自重 (kN)，地下水位以下扣除水的浮力。



1——夯实填充料；

2——挤密土体；

3——影响土体。

图 2 抗拔载体桩构造

5.2.2.2 载体基桩及群桩的抗拔极限承载力的确定应符合下列规定：

a) 对于设计等级为甲级和乙级的载体桩基，基桩的抗拔极限承载力应通过现场单桩抗拔静载荷试验确定。单桩抗拔静载荷试验方法及抗拔极限承载力标准值取值可按附录 B 执行；

b) 无当地经验，且群桩基础及设计等级为丙级建筑桩基，基桩的抗拔极限承载力计算时，计算位置应从纵向钢筋底开始，并可按下列规定确定：

1) 群桩呈非整体破坏时，基桩的抗拔极限承载力标准值可按下列公式计算：

$$T_{uk} = \sum \beta \lambda_i q_{sik} u_i l_i \dots\dots\dots (16)$$

式中：

u_i ——桩身抗拔破坏面的周长 (m)，按表 3 取值 (图 3)；

λ_i ——侧阻力抗拔折减系数，砂土取 0.55~0.75，黏性土和粉土取 0.75~0.85；

β ——考虑施工挤土后桩侧侧阻的提高系数，宜取 1.05~1.15。

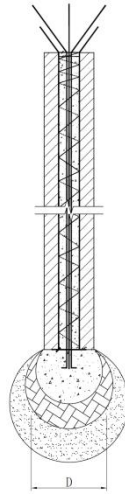


图 3 抗拔载体桩计算简图

表 3 载体桩受抗拔破坏表面周长取值

自纵向钢筋底以上的计算深度	$< (4 \sim 10) d$	$\geq (4 \sim 10) d$
u_i	πD	πd
注1：表中计算深度对于软土取低值，对于卵石、砾石取高值。 注2：D为抗拔承载力计算的等效直径（m），$D = d_0 + 2\Delta S$。其中，d_0为水泥砂拌合物换算成球体的等效直径（m） ΔS为载体桩抗拔承载力计算时的计算半径增量（m）。ΔS取值为0.3 m~0.5 m，填料多、三击贯入度小时取大值，填料少、三击贯入度大时取小值。		

2) 群桩呈整体破坏时，载体桩基桩的抗拔极限承载力标准值可按下式计算：

$$T_{gk} = \frac{1}{n_p} \beta u_l \sum \lambda_i q_{sik} l_i \dots \dots \dots (17)$$

式中：

- u_l ——群桩抗拔破坏时外缘矩形截面周长（m）；
- n_p ——承台下基桩桩数；
- β ——考虑施工挤土后桩侧侧阻的提高系数，宜取 1.05~1.15。

5.2.2.3 载体抗拔桩正截面受拉承载力应按下式进行验算：

$$N_p \leq f_y A_s \dots \dots \dots (18)$$

式中：

- N_p ——相应于作用的基本组合时桩顶轴向拉力（kN）；
- f_y ——纵向主筋抗拉强度设计值（kPa）；
- A_s ——纵向主筋截面面积（mm²）。

5.2.3 沉降计算

5.2.3.1 对于下列情况的载体桩基应进行沉降计算：

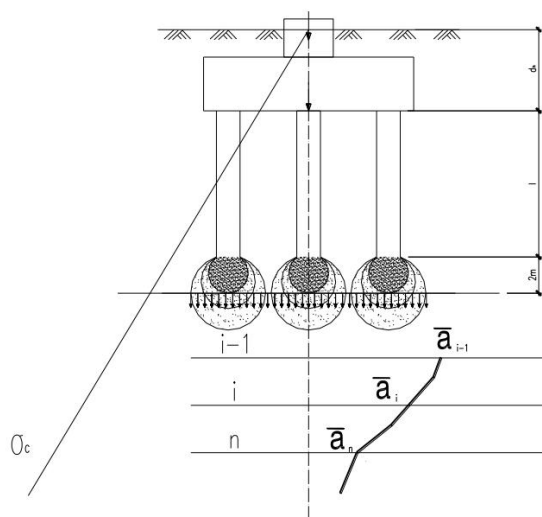
- a) 设计等级为甲级的载体桩基；
- b) 设计等级为乙级的体型复杂、荷载分布显著不均匀或桩端平面以下存在高压缩性土层的载体桩基；

c) 地基条件复杂、对沉降要求严格的其他载体桩基。

5.2.3.2 载体桩基沉降变形指标应包括沉降量、沉降差、整体倾斜和局部倾斜。

5.2.3.3 载体桩基沉降变形计算值不应大于建筑桩基沉降变形允许值，桩基沉降变形允许值应符合 JGJ 94 的规定。

5.2.3.4 载体桩沉降计算宜按等代实体深基础的单向压缩分层总和法进行计算，地基内的应力宜采用各向同性匀质弹性体变形理论，按实体深基础进行计算，沉降计算起始位置为桩身底面以下 2 m (图 4)。



d_h ——承台埋深；

l ——直杆段混凝土桩身长度；

σ_c ——土的自重压应力。

图 4 沉降计算示意

5.2.3.5 桩基最终沉降量应按下列公式计算：

$$S = \psi_p P_0 \sum_{i=1}^n \frac{Z_i \bar{\alpha}_i - Z_{i-1} \bar{\alpha}_{i-1}}{E_{si}} \quad (19)$$

式中：

S ——桩基最终沉降量 (mm)；

P_0 ——相应于作用准永久组合时桩端平面的附加压力 (kPa)；

ψ_p ——沉降计算经验系数，根据地区沉降观测资料及经验确定；当没有经验时，可按 GB 50007 执行；

Z_i 、 Z_{i-1} ——沉降计算时桩端面到第 i 、 $i-1$ 层土底面的距离 (m)；

$\bar{\alpha}_i$ 、 $\bar{\alpha}_{i-1}$ ——桩端平面下至第 i 层、第 $i-1$ 层土底面范围内的平均附加应力系数，可按 GB 50007 执行；

n ——桩端平面下压缩层范围内土层总数；

E_{si} ——桩端平面下第 i 层土在自重压力至自重压力加附加压力作用段的压缩模量 (MPa)。

5.2.4 桩端平面的附加压力计算应符合下列规定：

a) 对于独立承台基础：

$$P_0 = \frac{F + G_k - \gamma d_h A}{[L_0 + 2(l+2) \times \tan(\varphi/4)][B_0 + 2(l+2) \times \tan(\varphi/4)]} \quad (20)$$

b) 对于墙下布桩条形承台梁基础:

$$p_0 = \frac{F' + G'_k - \gamma d_b B_0}{B_0 + 2(1+2) \cdot \tan(\varphi/4)} \dots\dots\dots (21)$$

式中:

φ ——桩身穿过土层的等效有效内摩擦角 ($^\circ$);

F ——相应于作用的准永久组合时作用于承台顶的竖向力 (kN);

F' ——相应于作用的准永久组合时作用于承台梁上单位长度的竖向力 (kN/m);

G'_k ——单位长度梁及其上土的自重标准值 (kN/m)。

c) 当式 (20) 和式 (21) 中 $2(1+2) \cdot \tan(\varphi/4)$ 小于 $2\Delta R$ 时, 按 $2\Delta R$ 取值。

5.2.5 载体桩基沉降计算深度 (Z_n) 应符合下式规定:

$$\Delta S'_n \leq 0.025 \sum_{i=1}^n \Delta S'_i \dots\dots\dots (22)$$

式中:

$\Delta S'_i$ ——在计算深度范围内, 第 i 层土的计算变形值 (mm);

$\Delta S'_n$ ——由计算深度位置向上取厚度为 ΔZ_n 的土层计算变形值 (mm), ΔZ_n 可按 GB 50007 执行。

5.3 构造

5.3.1 管桩接桩构造应符合下列规定:

- 管桩上下节拼接可采用端板焊接连接或机械接头连接, 接头应保证管桩内纵向钢筋与端板等效传力, 接头连接强度不应小于管桩桩身强度。任一基桩的接头数量不宜超过 3 个;
- 用作抗拔的管桩宜采用专门的机械连接头或经专项设计的焊接接头。当在强腐蚀环境采用机械接头时, 宜同时采用焊接连接;
- 焊接接头连接施工应符合 JGJ/T 406—2017 中 8.3 的相关规定。

5.3.2 管桩与承台连接应符合下列规定:

- 桩顶嵌入承台内的长度宜为 50 mm~100 mm;
- 应采用桩顶填芯混凝土内插钢筋与承台连接的方式。对于没有截桩的桩顶, 可采用桩顶填芯混凝土内插钢筋和在桩顶端板上焊接锚筋相结合的方式。连接钢筋宜采用热轧带肋钢筋;
- 对于抗压桩, 连接钢筋配筋应按附录 A 执行, 数量不宜少于 4 根, 钢筋插入管桩内的长度应与桩顶填芯混凝土深度相同, 锚入承台内的长度不应小于 35 倍钢筋直径;
- 对于抗拔桩, 连接钢筋面积应根据抗拔承载力确定, 钢筋插入管桩内的长度与桩顶填芯混凝土深度相同, 锚入承台内的长度应按 GB 50010 确定。

5.3.3 管桩顶部与承台连接处的混凝土填芯应符合下列规定:

- 对于抗压桩, 填芯混凝土深度不应小于 3 倍桩径且不应小于 1.5 m; 对于抗拔桩, 填芯混凝土深度应按 JGJT 406—2017 中 5.2.10 条计算确定, 且不得小于 3 m; 对于桩顶承担较大压力的桩, 填芯混凝土深度应按计算确定, 且不得小于 6 倍桩径并不得小于 3 m;
- 填芯混凝土强度等级应比承台和承台梁提高一个等级, 且不应低于 C30。应采用无收缩混凝土或微膨胀混凝土。混凝土限制膨胀率和限制干缩率的测定应按 GB 50119 的有关规定执行;
- 管腔内壁浮浆应清理干净, 并刷纯水泥浆。填芯混凝土应灌注饱满, 振捣密实, 下封层不得漏浆。

5.3.4 管桩与承台连接构造图见附录 C 和附录 D。

6 施工

6.1 施工准备

6.1.1 预制载体桩施工准备应符合下列规定：

- a) 应通过查阅建筑场地和邻近区域内原有构筑物 and 地下管线分布资料、现场踏勘等进行施工环境调查。对存在影响施工的建筑、管线、地下构筑物等要进行勘察，并应会同有关单位采取处理措施；
- b) 依据审查合格的岩土工程勘察报告、桩基设计文件及现场施工条件等，结合工程经验，确定施工工艺和设备，并编制施工组织设计方案；
- c) 进行施工图会审和设计交底；
- d) 对主要施工机械及其配套设备应进行性能和运行安全检查；
- e) 对拟用的水泥、砂石、混凝土、钢筋、构件等原材料进行见证检验；
- f) 应进行工艺试验施工，检验地质与勘察报告应相符，工艺应适合，并根据施工结果确定载体桩的施工工艺。

6.1.2 施工前应进行设备的调平，避免施工中桩机倾斜过大导致施工安全事故。

6.1.3 成桩过程中应结合地质情况、桩间距及桩长，合理安排施工顺序。施工顺序应本着减少影响邻桩质量的原则，并应符合下列规定：

- a) 应有利于保护已施工桩不受损坏；
- b) 应采取退打的方式自中间向两端或自一侧向另一侧进行；当一侧毗邻建筑物时，应由毗邻建筑物一侧向另一侧施工；
- c) 持力层埋深不一致时，应按先浅后深的顺序进行施工。

6.2 设备准备

6.2.1 预制载体桩施工设备通常由载体桩自动化施工设备、吊机、空心柱锤、实心柱锤、振动锤、液压夹具、钢护筒、卷扬机等组成。

6.2.2 预制载体桩钢护筒一般采用直径为 325 mm~800 mm 的无缝钢管。

6.2.3 柱锤质量约 1.5 t~10 t，锤径为 250 mm~700 mm，长为 2 000 mm~10 000 mm（实心柱锤）或 4 000 mm~14 000 mm（空心柱锤）。

6.2.4 施工现场应配备的配套设备包括：

- 1) 水准仪、经纬仪、钢尺等测量设备；
- 2) 钢筋加工设备。

6.3 施工材料

6.3.1 材料采购应根据合同文件中规定的物资采购范围进行采购。

6.3.2 除特殊注明外，载体桩施工所用材料、材质、规格、施工及验收等按照国家批准的现行规范、规程办理，所采购的材料或设备须有出厂合格证、材质证明及相关应具备的文件。涉及到混凝土质量的，一定要在混凝土供应合同里说明并要求混凝土供应单位出具切实可行的供应方案。

6.3.3 应根据工程进度情况，编制材料的进场计划和使用计划。

6.3.4 工程所用材料如需使用其它规格材料代替，须按照相关规范、规程进行核算，报监理方和设计方同意后，方可实施。

6.4 安全准备

应遵守 GB 50656 的相关规定，现场施工人员应听从指挥，服从现场安排。

6.5 施工工法

6.5.1 工艺方法

预制桩身载体桩（图 5）按受力机制分为抗压载体桩（图 a））和抗拔载体桩（图 b）），抗压桩施工方法分为预应力管内夯击法 1、预应力管内夯击法 2 和自动化非挤土型施工法；抗拔桩施工方法根据抗拔件选取不同，可分为预应力管内夯击法 1（抗拔筋）、预应力管内夯击法 2（高强度预应力钢筋）、预应力管内夯击法 3（抗拔钢筋笼）和后放预制桩身法（抗拔筋）。

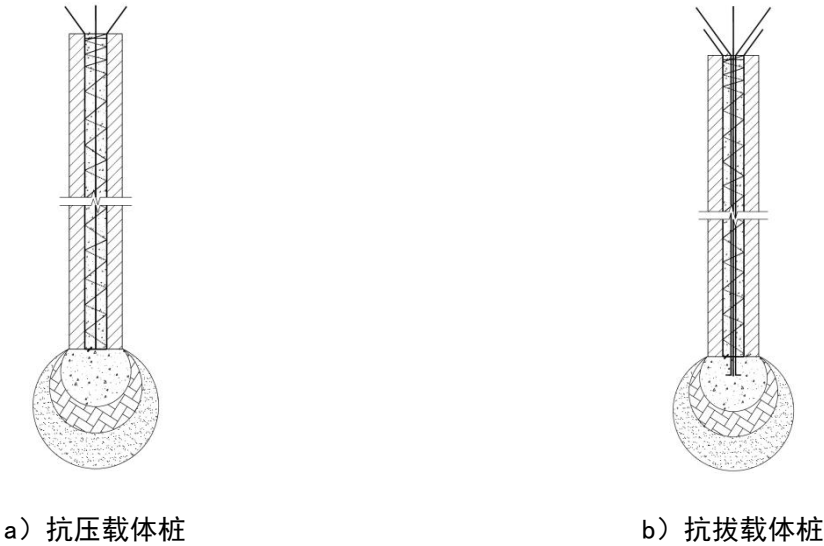


图 5 预制桩身载体桩

6.5.2 预应力管内夯击法 1

6.5.2.1 预应力管内夯击法 1 的施工流程见图 6，成型载体桩大样如图 7。

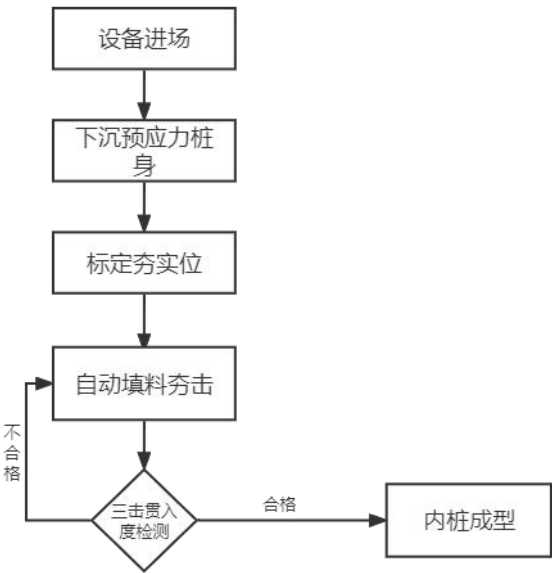


图 6 预应力管内夯击法 1 施工流程

6.5.2.2 设备进场，在施工现场准备吊机、液压卷扬机、夯锤及中部贯通的预应力管桩。

- 6.5.2.3 下沉预应力桩身，准确设置桩孔位标记，将预应力管桩起吊至桩孔位标记处，封堵预应力管桩下沉端后，再将预应力管桩下沉至设计标高持力层。
- 6.5.2.4 标定夯实位，液压卷扬机下放夯锤至预应力管桩底部，使夯锤下底面与预应力管桩下底面平齐，标定为夯实位；正式下锤时，将夯实位时夯锤所处的位置与夯击后检测的夯锤所处的位置取差值即可计算出夯锤的下沉量。
- 6.5.2.5 自动填料夯击，采用输送装置向预应力管桩中空部输送设定量的填料，下锤并检测下沉量；根据夯锤每一次夯击后实时测得的下沉量判定以输送合适量的填料并夯击；
- 6.5.2.6 三击贯入度检测，若三击贯入度检测合格，则进入下一步骤；若三击贯入度检测不合格，则重复步骤 8.2.1.5 之步骤。
- 6.5.2.7 内桩成型，在预应力管桩中空部下放钢筋笼，并浇筑混凝土。

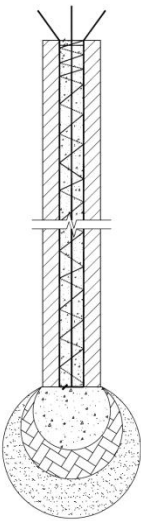


图 7 预应力管内夯击法 1 成型载体桩大样

6.5.3 预应力管内夯击法 2

6.5.3.1 预应力管内夯击法 2 的施工程序见图 8，成型载体桩大样如图 9。

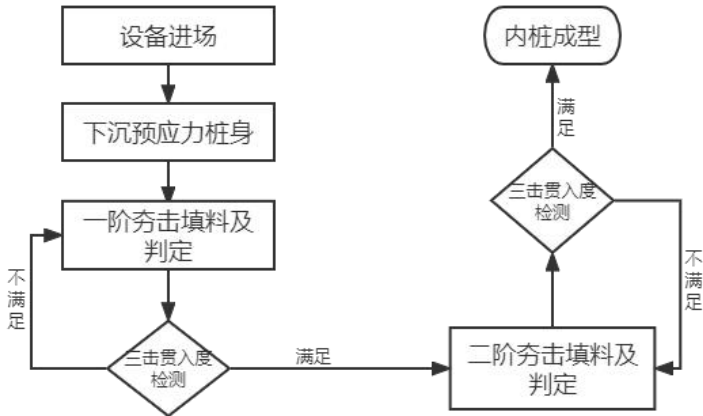


图 8 预应力管内夯击法 2 施工程序

- 6.5.3.2 预应力桩身应符合 JGJ/T 406 的相关要求。
- 6.5.3.3 设备进场，在施工现场准备桩机、卷扬机、夯锤和预应力管桩。
- 6.5.3.4 下沉预应力桩身，在预应力管桩端部固定延长管，封堵延长管，随后将预应力管桩和延长管一并下沉至设计标高持力层。
- 6.5.3.5 一阶夯击填料，根据夯锤每一次夯击后实时测得的下沉量判定以输送合适量的填料并夯击，每批次投料不应越过预应力管桩底端，直至将一阶夯填至符合的三击贯入度。
- 6.5.3.6 二阶夯击填料，根据夯锤每一次夯击后实时测得的下沉量判定以输送合适量的填料并夯击，直至二阶夯填料挤爆延长管并满足三击贯入度要求。
- 6.5.3.7 内桩成型，在预应力管桩中空部下放钢筋笼，并浇筑混凝土。

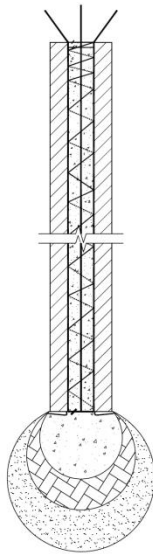


图 9 预应力管内夯击法 2 成型载体桩大样

6.5.4 自动化非挤土型施工法

6.5.4.1 自动化非挤土型施工流程见图 10，成型载体桩大样如图 11。

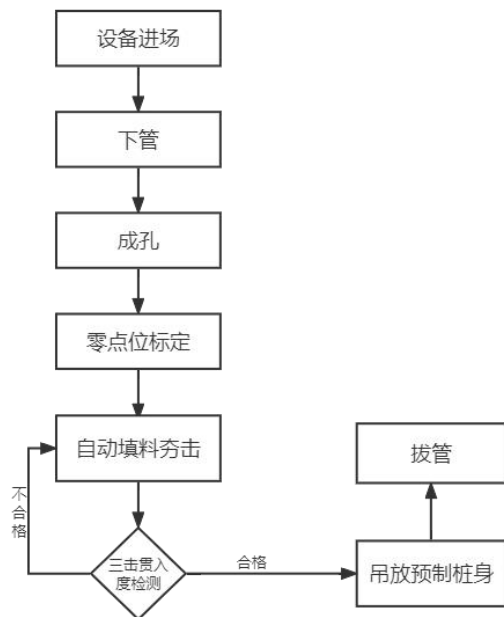


图 10 自动化非挤土型施工流程

- 6.5.4.2 设备进场，在施工现场准备吊机、振动锤、液压夹具、液压卷扬机、夯锤和钢护筒。
- 6.5.4.3 下管，准确设置桩孔位标记，采用液压夹具夹紧钢护筒，将钢护筒起吊至桩孔位标记处，且将钢护筒的底部插入桩孔位标记处的土层内，控制液压夹具松开钢护筒后，然后将钢护筒下沉至设计标高持力层，再在吊机、振动锤和液压夹具的配合在下一个桩孔位标记处沉放下一个钢护筒成孔，在已经下沉完毕的钢护筒内采用旋挖或者长螺旋辅助引孔方式成孔。
- 6.5.4.4 零点位标定，将夯锤下放至坑底定为夯锤下放零点位，正式下锤时，将零点位时夯锤所处的位置与夯击后检测的夯锤所处的位置取差值即可计算出夯锤的下沉深度。
- 6.5.4.5 自动填料夯击，采用输送装置向坑底输送设定量的填料，下锤并检测下沉深度；根据夯锤每一次夯击后实时测得的下沉量判定以输送合适量的填料并夯击。
- 6.5.4.6 进行三击贯入度检测。
- 6.5.4.7 将预制桩吊入钢护筒内，测量预制桩标高并调整预制桩在允许误差范围内。
- 6.5.4.8 拔管，将钢护筒从桩孔位内拔出，应控制拔出速度，可采用停拔措施。
- 注：根据地质条件情况，也可以先采用长螺旋或旋挖先成孔，再将钢护筒沉至设计标高。

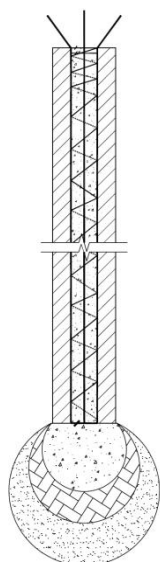


图 11 自动化非挤土型施工法成型载体桩大样

6.5.5 预应力管内夯击法 1（抗拔筋）

- 6.5.5.1 本法中的抗拔件可用抗拔筋、抗拔锚杆等。
- 6.5.5.2 施工流程见图 12，成型载体桩大样如图 13。

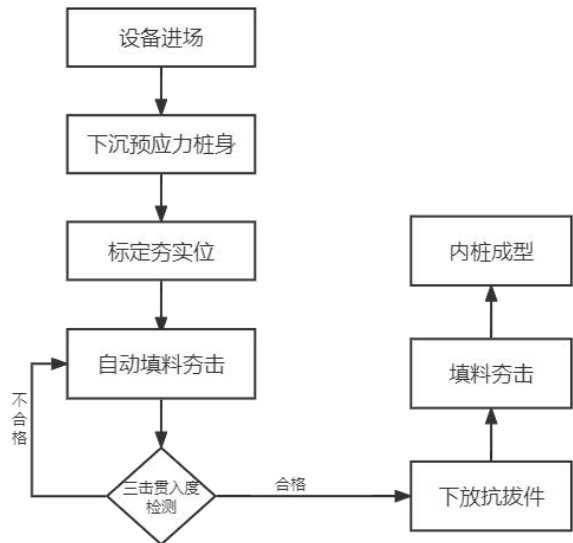


图 12 预应力管内夯击法 1 施工流程

- 6.5.5.3 设备进场，在施工现场准备吊机、液压卷扬机、夯锤及中部贯通的预应力管桩。
- 6.5.5.4 下沉预应力桩身，准确设置桩孔位标记，将预应力管桩起吊至桩孔位标记处，封堵预应力管桩下沉端后，再将预应力管桩下沉至设计标高持力层。
- 6.5.5.5 标定夯实位，液压卷扬机下放夯锤至预应力管桩底部，使夯锤下底面与预应力管桩下底面平齐，标定为夯实位；正式下锤时，将夯实位时夯锤所处的位置与夯击后检测的夯锤所处的位置取差值即可计算出夯锤的下沉量。
- 6.5.5.6 自动填料夯击，根据夯锤每一次夯击后实时测得的下沉量判定以输送合适量的填料并夯击。
- 6.5.5.7 三击贯入度检测合格后，更换为空心锤，并在预应力管桩中空部穿入抗拔件，使抗拔件底部触底，并重复 8.3.1.6 之步骤。
- 6.5.5.8 内桩成型，在预应力管桩中空部下放钢筋笼，并浇筑混凝土。

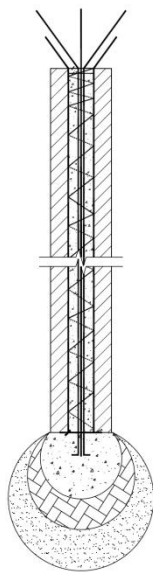


图 13 预应力管内夯击法 1（抗拔筋）成型载体桩大样

6.5.6 预应力管内夯击法 2（高强度预应力钢筋）

- 6.5.6.1 本法中的抗拔件还可使用抗拔锚杆、抗拔筋等。
- 6.5.6.2 施工流程见图 14，成型载体桩大样如图 15。

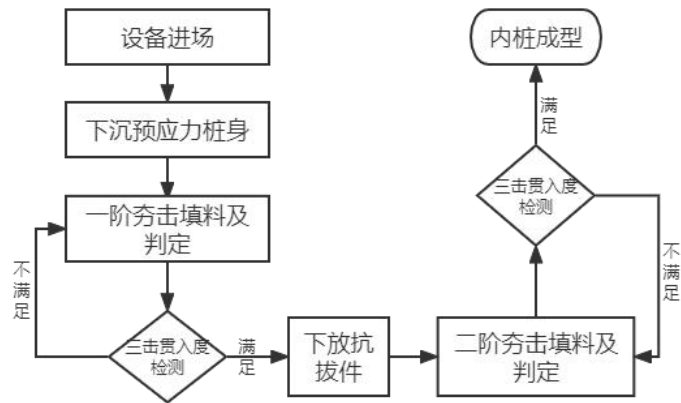


图 14 预应力管内夯击法 2（高强度预应力钢筋）施工流程

- 6.5.6.3 预应力桩身应符合 JGJ/T 406 的相关要求。
- 6.5.6.4 设备进场，在施工现场准备桩机、卷扬机、夯锤和预应力管桩。
- 6.5.6.5 下沉预应力桩身，在预应力管桩端部固定延长管，封堵延长管，随后将预应力管桩和延长管一并下沉至设计标高持力层。
- 6.5.6.6 一阶夯击填料，根据夯锤每一次夯击后实时测得的下沉量判定以输送合适量的填料并夯击，每批次投料不应越过预应力管桩底端，直至将一阶夯填至符合的三击贯入度。
- 6.5.6.7 设置抗拔件，在预应力管桩中空部穿入抗拔件，并使抗拔件底部触底。
- 6.5.6.8 二阶夯击填料，根据夯锤每一次夯击后实时测得的下沉量判定以输送合适量的填料并夯击，直至二阶夯填料挤爆延长管并满足三击贯入度要求。
- 6.5.6.9 内桩成型，在预应力管桩中空部下放钢筋笼，并浇筑混凝土。

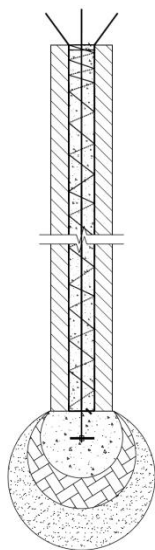


图 15 预应力管内夯击法 2（高强度预应力钢筋）成型载体桩大样

6.5.7 预应力管内夯击法 3（抗拔钢筋笼）

6.5.7.1 施工流程见图 16，成型载体桩大样如图 17。

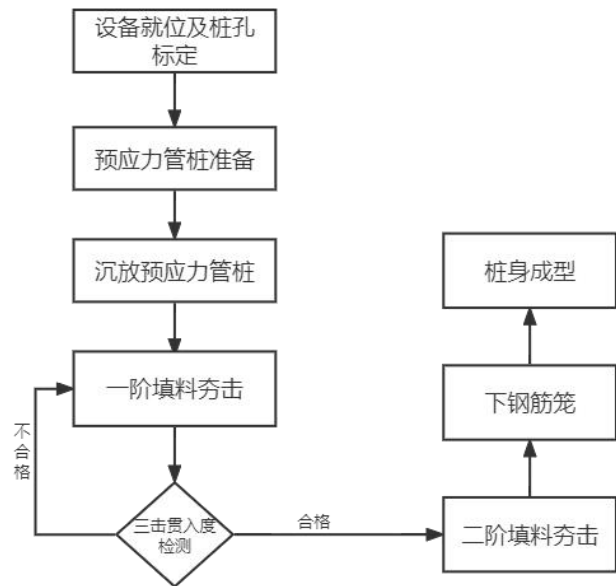


图 16 预应力管内夯击法 3（抗拔钢筋笼）施工流程

- 6.5.7.2 设备就位及桩孔标定，在施工现场准备桩机、卷扬机、重锤、呈中空管状的预应力管桩抗拔钢筋笼和延长内管，测量放线，并准确设置桩孔标记。
- 6.5.7.3 在预应力管桩底端穿设与之内壁紧贴的延长内管，并使延长内管限位设置在预应力管桩上，防止延长内管在预应力管桩中朝背离下管的方向滑动，随后封堵延长内管底端。
- 6.5.7.4 沉放预应力管桩，通过桩机将设有延长内管的预应力管桩在桩孔标记处下沉至设计标高。
- 6.5.7.5 一阶填料夯击，先在预应力管桩内提升重锤空夯若干次以在延长内管下方形成凹坑，向凹坑中投入填充料，夯击若干次以在延长内管底端形成载体。
- 6.5.7.6 然后进行三击贯入度检测，若检测合格，则继续向预应力管桩中投入填充料，重复夯击动作若干次以使延长内管下沉并在载体中形成夯击孔。
- 6.5.7.7 下钢筋笼，检测夯击孔孔深，若符合设计值，则在预应力管桩中下放抗拔钢筋笼至夯击孔孔底。
- 6.5.7.8 桩身成型，向预应力管桩内灌注混凝土或水泥砂浆成桩。

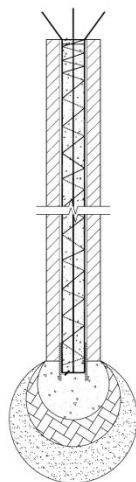


图 17 预应力管内夯击法 3（抗拔钢筋笼）成型载体桩大样

6.5.8 后放预制桩身法（抗拔筋）

6.5.8.1 施工流程图见图 18，成型载体桩大样如图 19。

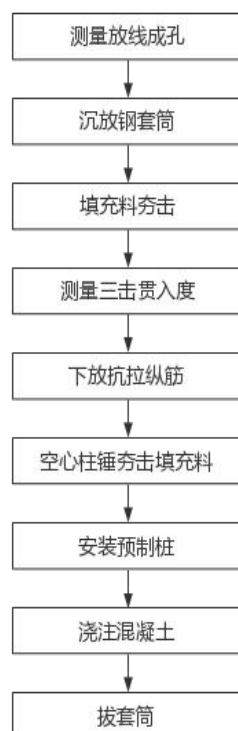


图 18 后放预制桩身法（抗拔筋）施工流程

6.5.8.2 测量放线成孔，准确设置桩孔标记，在桩孔标记位置重锤土层逐段锤击成孔，或者采用旋挖、长螺旋辅助引孔方式成孔。

6.5.8.3 沉放钢套筒，将钢套筒沉至设计标高。

6.5.8.4 填料夯击，钢套筒沉放至持力层后，进行分次填入填料，并多次夯击填料。

6.5.8.5 测量三击贯入度，填料完成形成密实载体状态后，卷扬机提升重锤底至孔底（5~7）m 的高度，快速落放重锤，使重锤做自由落体运动，测量三击贯入度，若不满足设计要求，继续在桩孔内填充并锤击填充料，直至满足三击贯入度要求。

6.5.8.6 下放抗拉纵筋，在桩孔内下放抗拔钢筋。

6.5.8.7 空心柱锤夯击填充料，抗拔钢筋下放后，将空心柱锤沉放至桩孔内，使抗拔钢筋处于空心柱锤的贯入通孔内，继续分次填入填料，多次夯击填料直至抗拉纵筋进入载体不小于（40~60）cm。

6.5.8.8 抗拔钢筋包括多根抗拉纵筋并利用位于中间的帮焊钢筋焊连固定成一束，多根抗拉纵筋周侧还共同环绕有定位环，在重锤带动下，抗拉纵筋的底端延伸至填充料内，抗拉纵筋的底端均朝向相互背离的方向呈（85~95）度弯曲状设置，且相邻抗拉纵筋的底端沿桩孔的内径方向间隔排布。

6.5.8.9 安装预制桩，将多个钢筋笼体和混凝土预制形成预制桩，通过卷扬机将预制桩吊起并放入钢套筒内，预制桩中心形成用于容纳抗拉纵筋的管桩孔并将抗拉纵筋穿入预制桩的管桩孔内，测量预制桩标高并调整预制桩在允许误差范围内。

6.5.8.10 浇筑水泥砂浆或混凝土，在预制桩内浇筑水泥砂浆或混凝土，测量并控制浇筑水泥砂浆的标高。

6.5.8.11 拔套筒，将钢套筒从桩孔内拔出，应控制拔出速度，可采用停拔措施。

6.5.8.12 流水线施工：在多桩位施工时，应在邻近桩位依次进行辅助引孔—钢护筒沉至设计标高—实心柱锤桩机填料夯击—测量三击贯入度—下放抗拔钢筋—空心柱锤桩机夯填填充料—放置预制桩—浇注混凝土—拔出钢护筒，循环使用各施工步骤所使用的施工设备，形成流水线循环作业方式。

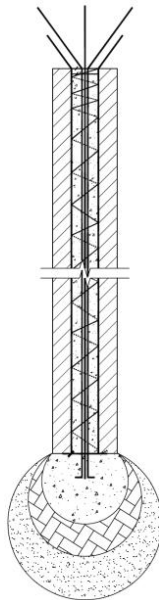


图 19 后放预制桩身法（抗拔筋）成型载体桩大样

7 验收

7.1 一般规定

- 7.1.1 预制桩桩位允许偏差应符合表 4 要求。
- 7.1.2 预制桩身载体桩的成桩质量检查包括载体的质量检查外还包括桩身质量、吊装过程的质量检查。
- 7.1.3 应进行桩位、桩长、桩径、桩身质量和单桩承载力的检验。
- 7.1.4 施工前应检验成品桩构造尺寸及外观质量。
- 7.1.5 施工中应检验接桩质量、锤击及静压的技术指标、垂直度以及桩顶标高等。
- 7.1.6 施工结束后应对承载力及桩身完整性等进行检验。
- 7.1.7 预制载体桩的载体的三击贯入度指标是对载体的直接检验，不应采取抽芯检测手段检验载体的密实程度。
- 7.1.8 钢筋混凝土预制桩质量检验标准应符合表 5、表 6 的规定。

表 4 桩位允许偏差表

序	检查项目		允许偏差（mm）
1	带有基础梁的桩	垂直基础梁的中心线	$\leq 100 + 0.01H$
2	承台桩	沿基础梁的中心线	$\leq 150 + 0.01H$
		桩数为 1 根~3 根桩基中的桩	$\leq 100 + 0.01H$
		桩数大于或等于 4 根桩基中的桩	$\leq 1/2 \text{ 桩径} + 0.01H$ 或 $1/2 \text{ 边长} + 0.01H$

注：H为桩基施工面至设计桩顶的距离（mm）。

表 5 锤击预制桩质量检验标准

项	序	检查项目	允许值或允许偏差		检查方法
			单位	数值	
主控项目	1	承载力	不小于设计值		静载试验
	2	桩身完整性	—		低应变法
一般项目	1	成品桩质量	表面平整，颜色均匀，掉角深度小于10 mm，蜂窝面积小于总面积的 0.5%		查产品合格证
	2	桩位	按表 4 要求执行		全站仪或用钢尺量
	3	电焊条质量	设计要求		查产品合格证
	4	接桩、焊缝质量	GB 50202—2018 中 5.10.4		按照 GB 50202—2018 中 5.10.4 执行
		电焊结束后停歇时间	min	≥8（3）	用表计时
		上下节平面偏差	min	≤10	用钢尺量
		节点弯曲矢高	同桩体弯曲要求		用钢尺量
	5	收锤标准	满足载体桩桩长设计要求		用水准仪或查沉桩记录
	6	桩顶标高	mm	±50	水准测量
	7	垂直度	≤1/100		经纬仪测量
注：括号中为采用二氧化碳气体保护时的数值。					

表 6 静压预制桩质量检验标准

项	序	检查项目	允许值或允许偏差		检查方法
			单位	数值	
主控项目	1	承载力	不小于设计值		静载试验
	2	桩身完整性	—		低应变法
一般项目	1	成品桩质量	GB 50202—2018 中的 5.5.4—1		查产品合格证
	2	桩位	按表 4 要求执行		全站仪或用钢尺量
	3	电焊条质量	设计要求		查产品合格证
	4	接桩、焊缝质量	GB 50202—2018 中的 5.10.4		按照 GB 50202—2018 中 5.10.4 执行
		电焊结束后停歇时间	min	≥6（3）	用表及时
		上下节平面偏差	min	≤10	用钢尺量
		节点弯曲矢高	同桩体弯曲要求		用钢尺量
	5	终压标准	满足载体桩桩长设计要求		用水准仪或查沉桩记录
	6	桩顶标高	mm	±50	水准测量
	7	垂直度	≤1/100		经纬仪测量
	8	混凝土灌芯	设计要求		查灌注量
注：电焊结束后停歇时间项括号中为采用二氧化碳气体保护时的数值。					

7.2 施工前检验

- 7.2.1 施工前应对砂、石子、水泥、钢材等桩体原材料进行检验，检验项目和方法应符合 JGJ 52 的规定。
- 7.2.2 施工前应对桩位偏差进行检验，桩位偏差的允许值参照 GB 50202 执行。
- 7.2.3 混凝土拌制应对原材料、混凝土配合比、坍落度及混凝土的强度等级进行试验，应按 JGJ 55 执行。
- 7.2.4 钢筋笼制作应对钢筋规格、焊条规格、品种、焊口规格、焊缝长度、焊缝外观和质量、主筋和箍筋的制作偏差等进行检查，各项指标和允许偏差应符合 GB 50202 和 JGJ 94 的规定。

7.3 施工中检验

- 7.3.1 预制桩下沉时应对下沉深度、垂直度等进行检验。
- 7.3.2 载体施工中应进行以下检验：
- 检验载体桩自动化施工设备的设置参数，包括：柱锤提升高度、下落距离、三击贯入度等；
 - 夯填水泥砂拌合物的总体积；
 - 测量三击贯入度。
- 7.3.3 载体桩的质量检验标准见表 7。

表 7 质量检验标准

项	序	检查项目	允许偏差		检查方法
			单位	数值	
主控项目	1	桩位	按表 4 要求执行		测量桩中心
	2	孔深	mm	±300	检查护筒沉入深度
	3	混凝土强度	设计要求		试件报告或钻芯取样送检
	4	桩身质量检验	按 JGJ 106 执行		低应变检测
	5	承载力	按 JGJ 106 执行		静载荷试验
一般项目	1	垂直度	应按规范 GB 50202 执行		吊垂球
	2	桩径	应按规范 GB 50202 执行		用钢尺量
	3	坍落度值	mm	160~220	坍落度仪
	4	钢筋笼安装深度	mm	±100	用钢尺量
	5	混凝土充盈系数	>1		检查每根桩的实际灌注量

7.4 施工后检验

- 7.4.1 预制载体桩桩基验收应采用单桩承载力和桩身完整性的抽样检测，预制载体桩复合地基应进行增强体单桩承载力、复合地基承载力及桩身完整性的抽样检测。
- 7.4.2 预制载体桩基桩的检测应符合下列规定：
- 工程桩单桩承载力检测应采用静载荷试验检测，为设计提供设计参数的静载荷试验应采用慢速维持荷载法，有成熟检测经验地区的工程桩验收，静载荷试验可采用快速维持荷载法；
 - 单位工程检验桩数量不应少于同条件下总桩数的 1%，且不应少于 3 根，当总桩数小于 50 根时，检测数量不应少于 2 根；
 - 桩身完整性可采用低应变法检测，低应变法检测数量应符合下列规定：
 - 柱下为三桩或三桩以下承台，每个承台下抽检数量不得少于 1 根；

- 2) 设计等级为甲级或地质条件复杂、成桩质量可靠性差的载体桩，抽检数量不应少于总桩数的 30%，且不应少于 20 根；
 - 3) 其他工程不应少于总桩数的 20%，且不应少于 10 根。
 - d) 在桩身混凝土强度达到设计要求的前提下，从成桩到开始试验的休止时间，对于砂类土不应少于 7 天，粉土不应少于 10 天，非饱和黏性土不应少于 15 天，饱和黏性土、淤泥或淤泥质土不应少于 25 天。对于抗压桩，检测应于灌芯后至少 7 天进行，对于抗拔桩，检测应于灌芯后至少 28 天进行。
- 7.4.3 预制载体桩复合地基的检测应符合下列规定：
- a) 有经验时，可采用增强体竖向抗压静载荷试验、桩间土的静载荷试验和桩身完整性抽样进行检测；
 - b) 预制载体桩复合地基和增强体竖向抗压静载荷试验的检测方法按 JGJ 79 执行，检测数量应符合设计要求。

7.5 验收资料

预制载体桩验收应包括下列资料（或遵守当地建设管理部门的规定）：

- a) 工程地质勘察报告、桩基施工图、图纸会审纪要、设计变更及材料代用通知等；
- b) 经审定的施工组织设计、施工方案及批准的变更通知；
- c) 施工材料合格证及检验报告；
- d) 混凝土试块试压报告及评定表；
- e) 施工记录表；
- f) 隐蔽工程验收记录；
- g) 分项工程质量检验评定表；
- h) 桩基检测报告；
- i) 基桩竣工平面图；
- j) 桩基分部工程验收记。

附 录 A
(规范性)
单桩竖向抗压静载荷试验

- A.1 预制载体桩竖向静载荷试验的加载方式宜采用慢速维持荷载法，有经验的地区工程桩验收时也可采用快速维持荷载法。
- A.2 载反力装置可采用堆载法、锚桩法，或采用堆载和锚桩相结合的方法。
- A.3 试桩、锚桩（压重平台支座）和基准桩之间的中心距离应符合表A.1的规定。

表 A.1 试桩、锚桩和基准桩之间的中心距离

反力系统	试桩与锚桩（或压重平台支座墩边）	试桩与基准桩	基准桩与锚桩（或压重平台支座墩边）
锚桩横梁反力装置压重平台反力装置	$\geq 4(3)d$ 且 $> 2.0\text{ m}$	$\geq 4(3)d$ 且 $> 2.0\text{ m}$	$\geq 4(3)d$ 且 $> 2.0\text{ m}$
注1：表中d为试桩或锚桩的直径，取其较大者。 注2：括号内的数值用于工程验收检测多排桩且设计桩中心距离小于4d或压重平台支墩下2倍～3倍宽度影响范围内的地基土已进行加固处理情况。			

- A.4 加荷分级不应少于8级，每级加荷量宜为预估极限荷载的 $1/8 \sim 1/10$ 。
- A.5 慢速维持荷载法测读桩沉降量的间隔时间：每级加载后，每第5 min、10 min、15 min时应各测读一次，以后每隔15 min读一次，累计1 h后可每隔0.5 h读一次。
- A.6 桩的沉降量稳定标准：每级荷载作用下，每一小时内的桩顶沉降量不得超过0.1 mm，并连续出现2次。
- A.7 出现下列情况之一时可终止加载：
- 某级荷载作用下，桩的沉降量为前一级荷载作用下沉降量的5倍且总沉降大于60 mm；
 - 某级荷载作用下，桩的沉降量大于前一级荷载作用下沉降量的2倍，且经24 h尚未达到相对稳定；
 - 达到设计要求的最大加载量；
 - 当采用锚桩法时，锚桩的上拔量已达到允许值；
 - 曲线呈缓变型，桩顶沉降累计达到60 mm。
- A.8 卸载观测时应符合下列规定：
- 每级卸载值应为加载值的两倍；
 - 卸载后应隔15 min测读一次，读两次后，隔0.5 h再读一次，即可卸下一级荷载；
 - 全部卸载3 h～4 h后，应再测读一次。
- A.9 单根载体桩竖向极限承载力的确定应符合下列规定：
- 根据沉降随荷载变化的特征确定：对于陡降型Q—s曲线，应取其发生明显陡降的起点对应的荷载值；
 - 根据沉降随时间变化的特征确定：应取s—lgt曲线尾部出现明显向下弯曲的前一级荷载值；
 - 当出现本文件第A.7a)条的情况时，宜取前一级荷载值；
 - 当Q—s曲线呈缓变型时，应取桩顶总沉降量为60 mm所对应的荷载值；
 - 当不满足本条第a)～d)条情况时，竖向极限承载力应取最大加载值。
- A.10 为设计提供依据的单桩竖向抗压极限承载力的统计取值，应符合下列规定：

- a) 参加统计的试桩，当满足其极差不超过平均值的 30%时，可取其平均值作为单桩竖向极限承载力；
- b) 极差超过平均值的 30%时，应分析极差过大的原因，可增加试桩数量，结合工程具体情况确定极限承载力；
- c) 试验桩数小于 3 根或桩基承台下的桩数不大于 3 根时，应取最小值作为单桩极限承载力。

附录 B

(规范性)

单桩竖向抗拔静载试验

B.1 对混凝土灌注桩宜在拔桩试验前采用低应变法检测受检桩的桩身完整性。为设计提供依据的抗拔灌注桩，施工时应进行成孔质量检测，桩身中出现明显扩径的桩，不宜作为抗拔试验桩。

B.2 单桩竖向抗拔静载试验应采用慢速维持荷载法。设计有要求时，可采用多循环加、卸载方法或恒载法。

B.3 慢速维持荷载法的加、卸载分级以及桩顶上拔量的测读方式，应分别符合第B.3.1条和第B.3.2条的规定。

B.3.1 试验加、卸载方式应符合下列规定：

- a) 加载应分级进行，且采用逐级等量加载；分级荷载宜为最大加载值或预估极限承载力的 1/10，其中，第一级加载量可取分级荷载的 2 倍；
- b) 卸载应分级进行，每级卸载量宜取加载时分级荷载的 2 倍，且应逐级等量卸载；
- c) 加、卸载时，应使荷载传递均匀、连续、无冲击，且每级荷载在维持过程中的变化幅度不得超过分级荷载的 $\pm 10\%$ 。

B.3.2 慢速维持荷载法试验应符合下列规定：

- a) 每级荷载施加后，应分别按第 5 min、15 min、30 min、45 min、60 min 测读桩顶沉降量，以后每隔 30 min 测读一次桩顶沉降量；
- b) 试桩沉降相对稳定标准：每 1 h 内的桩顶沉降量不得超过 0.1 mm，并连续出现两次（从分级荷载施加后的第 30 min 开始，按 1.5 h 连续三次每 30 min 的沉降观测值计算）；
- c) 当桩顶沉降速率达到相对稳定标准时，可施加下一级荷载；
- d) 卸载时，每级荷载应维持 1 h，分别按第 15 min、30 min、60 min 测读桩顶沉降量后，即可卸下一级荷载；卸载至零后，应测读桩顶残余沉降量，维持时间不得少于 3 h，测读时间分别为第 15 min、30 min，以后每隔 30 min 测读一次桩顶残余沉降量。

B.4 当出现下列情况之一时，可终止加载：

- a) 在某级荷载作用下，桩顶上拔量大于前一级上拔荷载作用下的上拔量 5 倍；
- b) 按桩顶上拔量控制，累计桩顶上拔量超过 100 mm；
- c) 按钢筋抗拉强度控制，钢筋应力达到钢筋强度设计值，或某根钢筋拉断；
- d) 对于工程桩验收检测，达到设计或抗裂要求的最大上拔量或上拔荷载值。

B.5 测试桩身应变和桩端上拔位移时，数据的测读时间宜符合第B.3.2条的规定。

B.6 单桩竖向抗拔极限承载力应按下列方法确定：

- a) 根据上拔量随荷载变化的特征确定：对陡变型 $U - \delta$ 曲线，应取陡升起始点对应的荷载值；
- b) 根据上拔量随时间变化的特征确定：应取 $\delta - \lg t$ 曲线斜率明显变陡或曲线尾部明显弯曲的前一级荷载值；
- c) 当在某级荷载下抗拔钢筋断裂时，应取前一级荷载值。

B.7 为设计提供依据的单桩竖向抗拔极限承载力，可按如下统计方法确定：

- a) 对参加算术平均的试验桩检测结果，当极差不超过平均值的 30% 时，可取其算术平均值为单桩竖向抗压极限承载力；当极差超过平均值的 30% 时，应分析原因，结合桩型、施工工艺、地基条件、基础形式等工程具体情况综合确定极限承载力；不能明确极差过大的原因时，宜增加试桩数量；

b) 试验桩数量小于 3 根或桩基承台下的桩数不大于 3 根时，应取低值。

B.8 当验收检测的受检桩在最大上拔荷载作用下，未出现第 B.6 条第 a) ～ c) 款情况时，单桩竖向抗拔极限承载力应按下列情况对应的荷载值取值：

a) 设计要求最大上拔量控制值对应的荷载；

b) 施加的最大荷载；

c) 钢筋应力达到设计强度值时对应的荷载。

B.9 单桩竖向抗拔承载力特征值应按单桩竖向抗拔极限承载力的 50%取值。当工程桩不允许带裂缝工作时，应取桩身开裂的前一级荷载作为单桩竖向抗拔承载力特征值，并与按极限荷载 50%取值确定的承载力特征值相比，取低值。

B.10 当进行抗拔侧阻力测试时，应包括传感器类型、安装位置、轴力计算方法、各级荷载作用下的桩身轴力曲线，各土层的抗拔极限侧阻。

附 录 C
(规范性)
填芯混凝土内配筋

表 A.1 给出的是受压管桩与承台连接构造（图 A.1）及填芯混凝土内配筋。

表 C.1 填芯混凝土内配筋表

管桩外径 d（mm）	灌芯混凝土内配筋	
	4	5
300	4C14	Φ6@200
350	4C14	Φ6@200
400	4C16	Φ6@200
450	4C16	Φ6@200
500	6C16	Φ8@200
550	6C16	Φ8@200
600	6C18	Φ8@200
700	6C18	Φ8@200
800	6C20	Φ8@150
900	6C20	Φ8@150
1000	8C20	Φ8@150
1200	10C20	Φ8@150
1400	12C20	Φ8@150

图 A.1 是受压管桩与承台连接构造图。

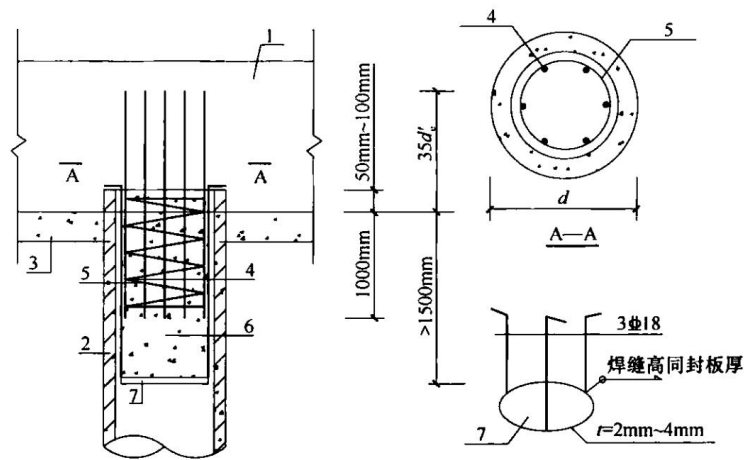


图 C.1 受压管桩与承台连接构造图

注：1—承台或底板；2—管桩；3—垫层；4—灌芯混凝土内纵筋；5—灌芯混凝土内箍筋；6—微膨胀混凝土灌芯；
7—支托钢板及吊筋；d—填芯钢筋直径。

附录 D
(规范性)
受拉管桩与承台连接构造图

图 B.1 是不截桩受拉管桩与承台连接构造图。

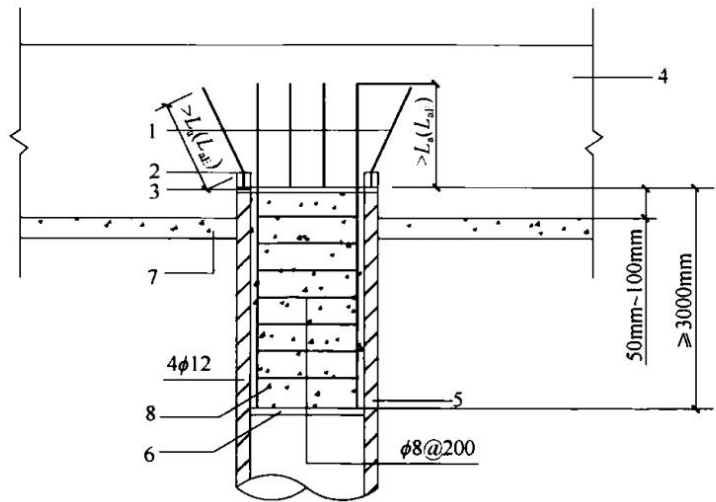


图 E.1 不截桩受拉管桩与承台连接构造图

注：1—锚固钢筋；2—锚板；3—端板；4—承台或底板；5—管桩；6— 4mm厚托板；7—垫层 ；8—微膨胀灌芯混凝土

图 B.2 是截桩受拉管桩与承台连接构造。

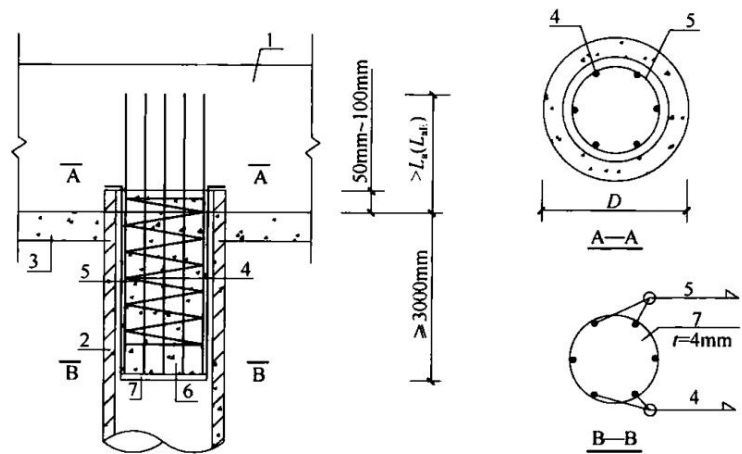


图 E.2 截桩受拉管桩与承台连接构造图

注：1—承台或底板；2—管桩；3—垫层；4—灌芯混凝土内纵筋；5—灌芯混凝土内箍筋；6—微膨胀灌芯混凝土；7—支托钢板。